

教育部 - 西门子产学合作专业综合改革项目系列教材

数控加工与 CAM 技术

于文强 严翼飞◎主编

西门子工业软件（上海）有限公司 监制



高等教育出版社

教育部-西门子产学合作专业综合改革项目系列教材

数控加工与 CAM 技术

Shukong Jiagong yu CAM Jishu

于文强	严翼飞	主 编
杨清林	赵 健	姜化凯
程鹏飞	副主编	
方 正	主 审	

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是教育部-西门子产学合作专业综合改革项目系列教材之一,由西门子工业软件(上海)有限公司工程师和多位从事数控加工与 CAM 技术教学的高校教师联合编著。

本书理论与实践相结合,注重数控加工基础理论与具体软件应用技巧相结合,着重加强对数控加工工艺分析与 NX CAM 操作流程的讲解。

全书共分为 7 章,内容包括数控加工与 CAM 技术概述、数控加工编程工艺基础、数控车削加工、数控铣削加工、数控加工中心、数控电火花线切割加工、CAM 新技术,一些章节包含大量经过机床试切验证的综合实例。

本书可作为高等学校机械及相关专业的教材,也可供企业模具制造或数控编程工作人员参考,亦可供希望快速掌握数控加工与 CAM 编程技术的读者自学。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工与 CAM 技术/于文强,严翼飞主编. --北京:高等教育出版社,2015.9

ISBN 978-7-04-043582-5

I. ①数… II. ①于…②严… III. ①数控机床-加工-高等学校-教材②数控机床-计算机辅助制造-高等学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 171825 号

策划编辑	卢 广	责任编辑	卢 广	封面设计	杨立新	版式设计	余 杨 马敬茹
插图绘制	杜晓丹	责任校对	刁丽丽	责任印制	尤 静		

出版发行	高等教育出版社
社 址	北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码	100120
印 刷	北京宏信印刷厂
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	23
字 数	550 千字
购书热线	010-58581118

咨询电话	400-810-0598
网 址	http://www.hep.edu.cn
	http://www.hep.com.cn
网上订购	http://www.landraco.com
	http://www.landraco.com.cn
版 次	2015 年 9 月第 1 版
印 次	2015 年 9 月第 1 次印刷
定 价	45.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 43582-00

Preface

Siemens PLM Software has partnered with of the People's Republic of China Ministry of Education(MOE) to support education in engineering technology and help provide the global manufacturing industry with a highly trained and heavily recruited workforce.

This series of textbook cultivates innovative engineering technology talent and enhances career competitive advantages for China's university students. It supports the use of leading edge technology to give students a solid platform to become excellent engineers in the 21st century, and pioneer the development of digital and intelligent manufacturing throughout the country.

This series of textbook combines theory and practice through explanation and examples to enhance the reader's basic knowledge and skills of product lifecycle management (PLM).

The curriculum integrates attributes and processes from Siemens PLM software, which is used by leading manufacturing companies around the globe to develop some of the world's most sophisticated products. This includes NX™ software for integrated computer-aided design, manufacturing and engineering simulation (CAD/CAM/CAE), Teamcenter® software for digital lifecycle management software and Tecnomatix® software for digital manufacturing.

Strong instruction by top China universities accelerates the development of certified industrial IT talent and boosts the application of computer-aided and digital technologies in the field of engineering.

We are impressed with the innovative engineering design projects developed by students leveraging this series of textbook with top notch classroom instruction.

Leo Liang
CEO and Manager Director
Greater China
Siemens PLM Software

Dora Smith
Global Director
Academic Partner Program
Siemens PLM Software

序 言

Siemens PLM Software 与教育部高等教育司合作,支持工科类教育事业,为全球制造业培养和提供大量训练有素的人才。

本系列教材适用于创新型工程技术人才的培养,有助于提高大学生的职业竞争力,为学生成为 21 世纪优秀工程师、全国的数字化和智能制造业发展先驱提供了一个领先的技术平台。本系列教材理论和实践相结合,通过详细的解析及案例分析,增强了读者掌握产品全生命周期 (PLM) 的基本知识和技能。

本系列教材集成了 Siemens PLM Software 的操作及属性,该软件被全球制造业公司用于开发最复杂的产品,软件包括 NX™ 集成计算机辅助设计、制造和工程仿真 (CAD/CAM/CAE) 软件、Teamcenter® 产品全生命周期管理软件、Tecnomatix® 数字化制造软件。

在强有力的引导下,中国顶尖大学加速了工业认证 IT 人才的发展,提高了计算机辅助技术和数字化技术在工程领域的应用水平。

我们深信读者在本系列教材及顶级课堂教学的指引下,便能掌握创新性工程设计项目的开发。

梁乃明
首席执行官兼董事总经理
大中华区
Siemens PLM Software

Dora Smith
全球总监
教育合作发展部
Siemens PLM Software

前 言

数控加工与 CAM 技术作为目前工业生产的一种重要手段,已成为衡量一个国家制造业水平的重要标志。为了更好地贯彻落实《教育部 财政部关于“十二五”期间实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》(教高司函[2011] 6 号),适应我国高等教育发展及应用型人才培养的需要,推进高校相关专业的综合改革,促进产学研合作育人,根据教育部与西门子公司签订的教育合作备忘录,开展产学研合作专业综合改革项目(教高司函[2013]101 号)。其项目成果之一就是推出一批具有产学研结合特色的系列教材。

本书由西门子工业软件(上海)有限公司工程师和多位从事数控加工与 CAM 技术实践理论教学的高校教师联合精心编写,具有工程实践和教学经验相结合的鲜明特色。本书通过典型的加工案例来介绍数控加工工艺与 CAM 技术,以 NX CAM 作为软件平台,详细介绍其使用方法和操作技巧,辅之以实用的关键参数讲解,可有效解除软件命令与参数的困扰。书中还列举数控加工参数的经验数据,包括加工工艺分析、刀具的选用、切削用量的选择等。本书可帮助读者快速掌握数控编程技术,为胜任数控加工工作打下基础。

本书由山东理工大学于文强、上海优集工业软件有限公司严翼飞主编,参加本书编写的有:盐城工学院赵健(第 1、6 章和第 5 章 5.3、5.4 节);南京工程学院杨清林(第 2 章、第 4 章 4.5 节);山东理工大学于文强(第 3 章,第 4 章 4.1~4.4 节,第 5 章 5.1、5.2 节,附录);上海优集工业软件有限公司严翼飞(第 7 章);全书插图由山东理工大学姜化凯、程鹏飞绘制整理。

在本书的撰写和 CAM 编程中得到了西门子工业软件(上海)有限公司各位专家的大力支持,方正工程师认真审阅了全书,提供了大量宝贵的修改意见,张振亚、赵辉等工程师也对本书编写多次提出指导性意见;上海交通大学郑维明做了文稿的校审。在此向各位专家表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

编者

2015 年 3 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第1章 数控加工与CAM

技术概述 1

1.1 数控加工与CAM技术的 基本概念	1
1.2 数控加工与CAM技术的发展 和应用	2
1.2.1 数控加工与CAM技术的发展	2
1.2.2 数控加工与CAM技术的应用	2
1.3 数控加工与CAM系统的功能 和作业过程	3
1.4 数控加工与CAM系统的硬件 与软件	4
1.4.1 数控加工与CAM的硬件系统	4
1.4.2 数控加工与CAM的软件系统	4
1.5 数控机床概述	5
1.5.1 数控机床的基本组成原理	5
1.5.2 数控机床的发展趋势	7
1.5.3 数控机床的分类	7
1.6 本章小结	9
思考与练习	10

第2章 数控加工编程工艺基础 ... 11

2.1 数控机床的坐标系统与插补 原理	11
2.1.1 坐标系及运动方向的规定	11
2.1.2 坐标轴及其运动方向	12
2.1.3 机床坐标零点	15
2.1.4 工件坐标系设置与偏移	15
2.1.5 绝对坐标编程及增量坐标编程 ...	16
2.1.6 数控编程的插补原理	17
2.2 数控加工工艺分析	18
2.2.1 数控加工工艺性特点及内容	18

2.2.2 机床的合理选用	20
2.2.3 加工方法和加工方案的确定	22
2.2.4 工序和工步的划分	28
2.2.5 零件的定位和安装	31
2.2.6 刀具的选用原则	32
2.2.7 切削用量的确定	32
2.2.8 数控加工路线的确定	33
2.2.9 工艺文件的制订	35
2.3 数控编程中的数值计算	39
2.3.1 平面轮廓切削点的计算	40
2.3.2 平面轮廓加工中刀具中心 位置的计算	43
2.3.3 空间曲线曲面加工的数值计算 ...	44
2.3.4 编程误差	46
2.4 数控加工CAM操作的基本流程 ...	47
2.4.1 CAM操作的基本流程	47
2.4.2 UG NX CAM加工类型	47
2.5 实际编程中遵循的加工原则	48
2.5.1 粗加工原则	48
2.5.2 半精加工原则	49
2.5.3 精加工原则	49
2.6 电极的加工工艺	49
2.6.1 电极处理	50
2.6.2 石墨电极加工工艺分析	51
2.7 本章小结	55
思考与练习	55

第3章 数控车削加工 56

3.1 概述	56
3.1.1 数控车床的分类	56
3.1.2 数控车床主要功能与技术参数 ...	58
3.1.3 数控车床的刀具及选用	59
3.1.4 切削用量的选用	66
3.2 数控车床加工工艺分析	68

3.2.1 数控车床加工工艺概述	68	4.4 简单平面特征零件的加工实例 ...	172
3.2.2 数控车床加工工艺分析	68	4.4.1 实例图纸工艺分析	172
3.2.3 工件在数控车床上的定位与装夹 ...	73	4.4.2 粗加工	173
3.3 数控车削加工 NC 编程	77	4.4.3 精加工底平面	180
3.3.1 创建车削加工刀具	79	4.4.4 精加工侧面 PLANAR_MILL	181
3.3.2 创建车削加工几何对象	82	4.5 复杂壳体类零件的加工实例	183
3.3.3 共同项参数的设置	86	4.5.1 零件图纸分析	183
3.4 数控车削典型加工操作	88	4.5.2 定位装夹与工艺路线的拟定	185
3.4.1 数控车削锥孔零件图纸分析	88	4.5.3 加工坐标零点与工艺参数 的确定	187
3.4.2 锥孔零件车削工艺路线的拟定 ...	89	4.5.4 CAM 软件操作流程	188
3.4.3 数控车削锥孔零件实例操作	90	4.6 本章小结	238
3.5 本章小结	107	思考与练习	239
思考与练习	108		
第 4 章 数控铣削加工	109	第 5 章 数控加工中心	241
4.1 概述	109	5.1 概述	241
4.1.1 数控铣床的分类	109	5.1.1 数控加工中心的组成	241
4.1.2 数控铣床主要功能与技术参数 ...	110	5.1.2 数控加工中心的分类	242
4.1.3 数控铣床的刀具及选用	114	5.1.3 加工中心(数控铣床)的加工 特点	245
4.1.4 切削用量的选用	121	5.1.4 加工中心主要加工对象	246
4.2 数控铣床加工工艺分析	124	5.2 加工中心的加工工艺分析	249
4.2.1 数控铣床加工工艺概述	124	5.2.1 零件的工艺分析	249
4.2.2 数控铣床加工工艺分析	125	5.2.2 加工中心的选用	252
4.2.3 工件的数控铣床上的定位 与装夹	138	5.2.3 零件的工艺设计	254
4.2.4 填写数控加工工序卡和 刀具卡	144	5.3 复杂腔体类零件的加工实例	261
4.3 CAM 软件常用铣削模块介绍	144	5.3.1 零件图纸分析	261
4.3.1 平面铣概述与参数基本设置	144	5.3.2 定位装夹与工艺路线的拟定	262
4.3.2 面铣概述与参数的基本设置	147	5.3.3 加工坐标零点与工艺参数 的确定	265
4.3.3 型腔铣概述与参数基本设置	148	5.3.4 CAM 软件操作流程	265
4.3.4 深度加工轮廓铣概述与参数 基本设置	155	5.3.5 后处理与程序单	283
4.3.5 固定轮廓铣概述与参数 基本设置	156	5.4 五轴加工实例	284
4.3.6 钻加工的概况与参数基本 设置	164	5.4.1 零件图纸分析	284
		5.4.2 定位装夹与工艺路线的拟定	286
		5.4.3 加工坐标零点与工艺参数 的确定	287

5.4.4 CAM 软件操作流程	288	6.4.2 定位装夹与工艺路线的拟定	331
5.4.5 后处理与程序单	295	6.4.3 穿丝孔、起切点及走丝路线与 工艺参数的确定	332
5.5 本章小结	295	6.4.4 数控线切割实例操作	333
思考与练习	296	6.5 本章小结	339
第 6 章 数控电火花线切割 加工	298	思考与练习	339
6.1 数控电火花线切割加工概况	298	第 7 章 CAM 新技术	342
6.1.1 电火花加工的产生及发展	298	7.1 概述	342
6.1.2 线切割的基本原理	298	7.2 增材制造	343
6.1.3 电火花线切割机床的分类	299	7.2.1 技术原理	343
6.1.4 数控电火花线切割机床的 结构组成	301	7.2.2 增材制造技术相比传统加工 技术的优势	344
6.2 数控电火花线切割加工工艺	303	7.2.3 增材制造案例	344
6.2.1 电火花线切割加工的步骤 及要求	303	7.3 机器人机加工	346
6.2.2 穿丝孔、起切点及走丝路线 的确定	305	7.3.1 机器人在加工领域的应用 特点	346
6.2.3 线切割工艺参数的选择	308	7.3.2 机器人案例	349
6.2.4 常用夹具及安装	310	7.4 本章小结	350
6.2.5 线切割加工工艺影响因素 分析	314	思考与练习	350
6.3 数控线切割自动编程基础	318	附录 1 FANUC 数控系统常用 G 代码	351
6.3.1 线切割加工模块子类型	318	附录 2 FANUC 数控系统常用 M 代码	353
6.3.2 线切割刀具	318	参考文献	354
6.3.3 线切割几何体	320		
6.3.4 线切割刀轨参数的设置	324		
6.4 典型线切割零件数控加工实例	330		
6.4.1 实例图纸工艺分析	330		

第1章 数控加工与CAM技术概述

数字控制技术广泛应用于信息产业、生物产业、航空、航天以及国防工业等现代科学技术和生产领域。在机械制造业中,利用计算机通过各种数字控制机床和设备,自动完成离散产品的加工、装配、检测和包装等制造过程,即为本书所描述的CAM技术。本章将介绍CAM技术的发展、应用以及数控机床的基本知识。

1.1 数控加工与CAM技术的基本概念

数字控制(numerical control, NC)简称数控,它所控制的—般是位置、角度、速度等机械量,以及温度、流量、压力等物理量。数字控制技术应用领域广泛,世界各国信息产业、生物产业、航空、航天等国防工业广泛采用数控技术,其中机械制造业是最早应用数控技术的行业,它担负着为国民经济各行业提供先进装备的重任。

数控机床是数字控制机床(computer numerical control machine tools)的简称。数控机床的运动和辅助动作均受控于数控系统发出的指令。而数控系统的指令是由程序员根据工件的材质、加工要求、机床的特性和系统所规定的指令格式(数控语言或符号)编制的。数控系统根据程序指令向伺服装置和其他功能部件发出运行或停止信息来控制机床的各种运动。当零件的加工程序结束时,机床便会自动停止。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题,是一种柔性的、高效能的自动化机床,代表了现代机床控制技术的发展方向,是一种典型的机电一体化产品。

数控加工(numerical control machining)是指在数控机床上进行零件加工的一种工艺方法。数控机床加工零件时,将编制好的零件加工数控程序输入数控装置中,再由数控装置控制机床主运动的变速、启停,进给运动的方向、速度和位移大小,以及其他诸如刀具选择交换、工件夹紧松开和冷却润滑的启停等动作,使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照数控程序规定的顺序、路程和参数进行工作,从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。数控加工过程包括由给定的零件加工要求(包括:零件图纸、CAD数据或实物模型)进行加工的全过程,其主要内容涉及数控机床加工工艺和数控编程技术两大方面。

计算机辅助制造CAM(computer aided manufacturing)是指在机械制造业中,利用电子数字计算机通过各种数字控制机床和设备,自动完成离散产品的加工、装配、检测和包装等制造过程。CAM的最初的定义是指从产品设计到加工制造之间的一切生产准备活动,它包括计算机辅助工艺过程设计、数控编程、工时定额的计算、生产计划的制订、资源需求计划的制订等。CAM的广义概念包括的内容则多得多,除了上述CAM最初的定义所包含的所有内

容外,它还包括制造活动中与物流有关的所有过程(加工、装配、检验、存贮、输送)的监视、控制和管理。狭义的 CAM 通常指计算机辅助数控程序的编制,包括刀具路线规划、刀位文件生成、刀具轨迹仿真以及后置处理和 NC(数控)代码生成等作业过程。本书中的 CAM 指的是狭义 CAM。

1.2 数控加工与 CAM 技术的发展和應用

1.2.1 数控加工与 CAM 技术的发展

数控技术起源于航空工业的需要。20 世纪 40 年代后期,美国帕森斯公司在受美国空军委托研制飞机螺旋桨叶片剖面轮廓检验用样板的加工机床时提出了用计算机控制机床运动的初始设想;1952 年在美国麻省理工学院的帮助下研制出三坐标数控铣床;50 年代中期这种数控铣床已用于加工飞机零件;60 年代数控系统和程序编制工作日益成熟和完善,数控机床已被用于各个工业部门。

数控加工发展初期,控制程序都是由手工编制的,效率很低。随着数控机床加工的零件越来越复杂,为了提高数控程序的编写效率,美国麻省理工学院设计了一套专门用于机械零件数控加工的自动编程语言 APT(automatically programmed tooling)。在这套系统中,人们只对零件的几何形状进行描述,并指定加工路线,由系统自动生成零件数控加工程序。这套 APT 系统几经发展,在 20 世纪 70 年代已经成为数控编程的标准。APT 系统就是最早的 CAM 系统。用 APT 编写的零件加工程序输入计算机,经计算机的 APT 语言编程系统编译产生刀位文件,然后进行数控后置处理,可生成数控系统能接受的零件数控加工程序。自动编程解决了手工编程难以解决的复杂零件的编程问题,减轻了编程的劳动强度,提高了效率和准确性。

随着先进制造技术的不断发展和进步,还可以采用 CAD/CAM 集成系统进行数控编程,它是以待加工零件 CAD 模型为基础的一种集加工工艺规划及数控编程为一体的自动编程方法,其主要特点是零件的几何形状可在零件设计阶段采用 CAD/CAM 集成系统的几何设计模块在图形方式下进行定义、显示和修改,最终得到零件的几何模型。数控编程中的刀具选择、刀具相对于零件表面的运动方式的定义、切削加工参数确定、走刀轨迹的生成、加工过程的动态模拟、程序验证直到后置处理等,都是通过屏幕菜单及命令驱动,用图形交互和人机对话的方式完成,这种编程方式具有形象直观、高效和容易掌握等优点。

1.2.2 数控加工与 CAM 技术的应用

数控机床具有通用机床所不具备的许多优点,其应用范围正在不断扩大,但它并不能完全取代通用机床,也不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床最适合加工具有以下特点的零件:

- (1) 多品种、小批量生产的零件;

- (2) 形状结构比较复杂的零件;
- (3) 需要频繁改型的零件;
- (4) 价值昂贵、不允许报废的零件;
- (5) 设计、制造周期短的急需零件;
- (6) 批量较大、精度要求较高的零件。

一般来说,当零件不太复杂,生产批量又较小时宜采用通用机床;当生产批量很大时,宜采用专用机床;而随着零件复杂程度的提高,数控机床愈显得适用。在多种、中小批量生产情况下,采用数控机床生产总成本更为适宜。

1.3 数控加工与 CAM 系统的功能和作业过程

数控编程是实现数控加工的基础和关键,对于复杂零件和需要多坐标联动数控加工的零件,手工编程将无法满足数控加工编程的要求。CAD/CAM 集成数控加工自动编程技术是目前数控编程最为高效可靠的编程方法,可以满足高精度、多轴联动复杂零件的数控加工编程的需要。利用 CAD 建立的产品模型,由 CAM 系统自动生成刀位数据文件,并在系统中通过计算机模拟数控程序的加工过程,观察加工效果,验证数控代码的可行性和安全性。数控加工模拟仿真通常有加工轨迹仿真,工件、刀具、机床的碰撞、干涉检验等,在确认无误后通过后置处理得到数控机床的加工程序,以避免现场调试带来的人力、物力的投入及加工设备损坏,从而减少制造费用,缩短产品设计周期。其作业过程可以分为五步,如图 1.1 所示。

(1) 零件几何信息的描述 利用 CAD/CAM 系统软件对零件进行几何造型,形成零件的三维几何信息。

(2) 加工工艺参数的确定 根据零件的几何信息(三维模型)确定零件的加工工艺参数及被加工面等信息。通过 CAM 系统提供的交互界面将这些信息输入计算机内。工艺参数包括加工方法、刀具参数、切削用量等;被加工面信息输入包括选择被加工面或被加工面的边界、进刀退刀方式、进给路线等。

(3) 刀具轨迹生成 根据几何信息和工艺信息,CAM 系统将自动进行有关数据的计算,生成刀具轨迹,并将相关信息分别保存在零件的轮廓数据文件、刀位数据文件及工艺参数文件中。它们是系统自动生成 NC 代码和仿真加工的基础。

(4) 刀具轨迹仿真与编辑 刀具轨迹仿真可验证刀具轨迹的合理性,如有错误和缺陷,可以对刀具轨迹进行一定的编辑,包括刀具轨迹的裁剪、分割、连接、转置、反向,刀位点的增加、删除、修改与均匀化等。

(5) 数控程序的产生——后置处理 将编辑好的刀位文件转换成特定机床数控系统能

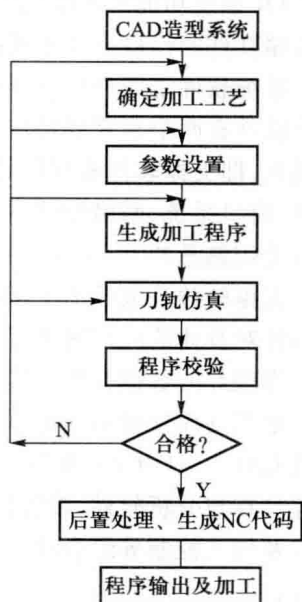


图 1.1 数控加工过程

执行的数控程序单。这些程序单可以直接输入到数控机床中,用于控制数控机床加工零件。

1.4 数控加工与CAM系统的硬件与软件

数控加工与CAM系统由硬件系统、软件系统两大部分组成。

1.4.1 数控加工与CAM的硬件系统

硬件系统是数控加工与CAM运行的基础,软件系统是数控加工与CAM的运行核心。硬件系统主要包括计算机主机系统、图形外部设备和网络通信设备,广义上讲硬件系统还包括用于数控加工和自动化装配等方面的数控机床和机器人等生产加工设备。

1.4.2 数控加工与CAM的软件系统

数控加工与CAM的软件系统由系统软件、支撑软件和应用软件等组成。随着数控加工与CAM系统功能的不断完善和提高,软件成本在整个系统中所占的比重越来越大,目前一些高端软件的价格已经远远高于硬件系统的价格。

系统软件是用户与计算机硬件连接的纽带,是使用、控制、管理计算机运行的程序集合。系统软件有两个显著的特点:一是通用性,不同应用领域的用户都需要使用系统软件;二是基础性,即支撑软件和应用软件都需要在系统软件的支持下运行。系统软件一般包括操作系统、窗口系统、网络管理系统等。其中操作系统通常由计算机制造商或软件公司开发,如我们比较熟悉的Windows系统、UNIX系统、Linux系统等。

支撑软件是数控加工与CAM系统的重要部分,一般由商业化的软件公司开发。这类软件不针对具体的应用对象,而是为某一应用领域的用户提供工具或开发环境。支撑软件一般具有较好的数据交换性能、软件集成性能和二次开发性能。

根据支撑软件的功能,可分为功能单一型和功能集成型软件。功能单一型支撑软件只提供CAD/CAE/CAM系统中某些典型过程的功能,如交互式绘图软件、三维几何建模软件、工程计算与分析软件、数控编程软件等。功能集成型支撑软件提供了设计、分析、造型、数控编程及加工控制等综合功能模块。目前功能集成型支撑软件已经商品化,具有代表性的软件有:

1. Siemens NX

Siemens NX是一个交互式的计算机辅助设计、辅助制造、辅助工程(CAD/CAM/CAE)的大型一体化软件系统之一,广泛应用于机械、汽车、飞机、电器、化工等各个行业的产品设计、制造与分析领域。

2. CATIA

CATIA是法国达索公司研制的三维几何造型软件,具有工程绘图、数控加工编程、计算分析等方面功能。可以方便地实现二维元素与三维元素之间的转换,还可以进行平面或空间机构运动学方面的模拟和分析。

3. Pro/E

Pro/E 是美国 PTC 公司开发的机械设计自动化软件,包含了多个专用功能模块,如特征造型、产品数据管理(PDM)、有限元分析、装配等,是最早较好实现参数化设计功能的软件。

4. CimatronE

CimatronE 是以色列公司面对工模具行业集成的 CAD/CAM 一体化解决方案。

5. SolidWorks

SolidWorks 是美国 SolidWorks 公司推出的小型 CAD/CAM 系统,采用著名的 Parasolid 为造型引擎,其主要功能可以与大型 CAD/CAM 系统相媲美。

6. AutoCAD 和 MDT

AutoCAD 和 MDT 是美国 Autodesk 公司推出的 CAD 系统,前者在我国二维 CAD 市场多年来一直占有相当份额,后者则是一种集成化的微机版 CAD 系统,它具有特征造型、约束装配和曲面造型能力,同时与 AutoCAD 完全集成。由于 AutoCAD 和 MDT 对设备资源要求不高,费用也不高,因此易于普及。

7. Mastercam

Mastercam 是美国的 CNC Software 公司开发的基于 PC 平台的 CAD/CAM 系统,它对硬件要求不高,并且操作灵活、易学易用,具有良好的价格性能比。

8. CAXA 系列软件

CAXA 系列软件是北京北航海尔软件公司的系列产品。该公司开发研制的 CAD/CAM 系列产品有:二维和三维电子图板、注塑模具设计系统、线切割系统、CAXA 制造工程师等,在国内有一定的市场份额。

应用软件是为用户实际问题或特定领域而开发的程序。应用程序是在系统软件和支撑软件基础上,利用支撑软件提供的二次开发接口、工具,或利用高级语言针对特定问题开发的程序。应用程序的开发常常与支撑软件紧密结合,利用支撑软件的二次开发工具实现。如可以利用 UG NX 系统的 UG/Open 二次开发工具,开发冲压模具的设计软件、压力容器的设计软件、液压系统的设计软件等。

1.5 数控机床概述

1.5.1 数控机床的基本组成原理

数控机床是完成数控加工的最主要设备。它由输入输出装置、计算机数控装置(简称 CNC 装置)、伺服系统和机床本体等部分组成。对于半闭环、闭环数控机床,还带有检测反馈装置。如图 1.2 所示。

1. 输入输出装置

在数控机床上加工零件时,首先根据零件图样上的零件形状、尺寸和技术条件确定加工工艺,然后编制加工程序,程序通过输入装置,输送给机床数控系统,机床内存中的零件加工程序可通过输出装置输出。输入输出装置是机床与外部设备的接口,常用的输入输出装置

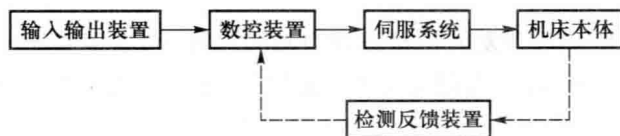


图 1.2 数控机床的基本组成

有软盘驱动器、RS232 串行通信接口、MDI 方式、网络接口等。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的中枢,用来接受并处理输入介质的信息,将代码加以识别、存储、运算,输出相应的命令脉冲,经过功率放大驱动伺服系统,使机床按规定要求动作。数控装置通常由一台通用或专用微型计算机构成,有输入接口、存储器、运算器、输出接口和控制电路等,如图 1.3 所示。

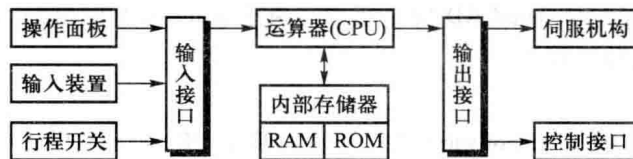


图 1.3 数控装置的组成

输入接口接收控制介质或操作面板上的信息,并将其信息代码加以识别,经译码后送入相应的存储器,存储器中的代码或数据是控制和运算的原始依据。

控制器根据输入的指令控制运算器和输出接口,以实现对机床各种操作的执行,例如控制主轴变速和起动、控制刀架或工作台移动等;同时控制机床的整个工作循环。运算器主要是对输入的数据进行某种运算,按运算结果不断地由输出接口输出脉冲信号,驱动伺服机构按规定的要求运动。

数控机床的功能强弱主要由数控装置的功能来决定,所以它是数控机床的核心部分。

3. 伺服系统

伺服系统是数控机床的执行部分,它的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床的运动。每一个脉冲信号使机床移动部件产生的位移量称为脉冲当量,常用的脉冲当量为 $0.001\text{mm}/\text{脉冲}$ 。每个进给运动的执行部件都有相应的伺服驱动系统,其性能是决定数控机床的加工精度、表面质量、生产率的主要因素之一。伺服系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成。

4. 机床本体

机床本体是数控机床的主体,是用于完成各种切削加工的机械部分。主要包括:主运动部件、进给运动部件(如工作台、刀架等)、支承部件(如床身、立柱等),还有冷却、润滑、转位部件以及夹紧、换刀机械手等辅助装置。

5. 检测反馈装置

对于半闭环、闭环数控机床检测反馈装置的作用是检测机床的实际运动速度、方向、位移量以及加工状态,并把检测结果转化为电信号反馈给数控装置,再通过比较,计算出实际

位置与指令位置之间的偏差,并发出纠正误差指令。常用位置检测元件有感应同步器、光栅、编码器、磁栅和激光测距仪等。

1.5.2 数控机床的发展趋势

1. 高速化

数控系统采用 32 位以上的微处理器,使数控系统的输入、译码、计算、输出等环节都在高速下完成,并可提高数控系统的分辨率及实现连续小程序段的高速、高精加工。正在开发的采用 64 位 CPU 的新型数控系统,可实现快速进给、高速加工、多轴控制功能,控制轴数最多可达 24 个,同时联动轴数可达 3~6 轴,进给速度可达 20~24 m/min,最快可达 60 m/min。

2. 高精度化

科学技术的发展促使数控机床的精度不断提高,数控机床的精度主要体现在定位精度和重复定位精度。新型、高速、多功能的数控系统,其分辨率可达 $0.1\ \mu\text{m}$,有的可达 $0.01\ \mu\text{m}$,实现了高精度加工。伺服系统采用反馈控制技术、高分辨率的位置检测元件、计算机的补偿功能等,保证了数控机床的高精度加工。

3. 柔性化

柔性化包含两个方面:一是数控系统本身的柔性,数控系统采用模块化设计,功能覆盖面大,可裁剪性强,便于满足不同用户的需求;二是群控系统的柔性,同一群控系统能依据不同生产流程的要求,使物料流和信息流自动进行动态调整,从而最大限度地发挥群控系统的效能。

4. 智能化

计算机软件技术的飞速发展使数控系统可充分利用软件技术,与人工智能技术相结合,使系统智能化。如在数控机床中引入自适应控制技术,对加工过程中客观存在的各式各样的不确定性,例如毛坯余量不匀、材料硬度不一致、刀具磨损、工件和机床变形等,提供了一个适应反馈环。它是针对系统最终切削性能有影响的过程变量进行测量,这些测量数据经自适应控制器的处理,用来调整系统的参数或改变加工特性,使系统发挥最好的工作效能。

同时,在数控机床中采用故障自诊断、自恢复技术,利用故障诊断程序进行在线诊断、离线诊断,甚至通过通信手段进行远程诊断。目前人工智能专家诊断系统也已应用到数控系统中,这种以知识库为基础的软件系统,通过人机控制器的交互作用,按一定的推理机制诊断出故障原因及排除方法。

5. 工艺复合性和多轴化

以减少工序、辅助时间为主要目的的复合加工,正朝着多轴、多系统控制功能方向发展。数控机床的工艺复合化是指工件在一台机床上一次装夹后,通过自动换刀、旋转主轴头或转台等各种措施,完成多工序、多表面的复合加工。

1.5.3 数控机床的分类

数控机床是在普通机床的基础上发展起来的,各种类型的数控机床基本上均起源于同